

MINERALITZACIÓ DE LA FRACCIÓ ORGANICONTROGENADA DELS ADOBS ORGÀNICS: POSSIBLES VIES PER A LA SEVA ESTIMACIÓ

Josep Saña*

RESUM

Es planteja la dificultat d'avaluar el comportament com a adobs nitrogenats dels residus rics en N-orgànic. Es revisen els models que descriuen el procés de mineralització d'aquests materials. Així mateix s'estableixen les limitacions que presenta el clàssic model d'Henin-Dupuis, que introdueix el coeficient isohúmic k_2 per descriure el comportament en el sòl de la matèria orgànica dels residus.

Es discuteix la dificultat per obtenir valors vàlids de k_2 a través dels balanços de massa i es proposa la caracterització d'aquest paràmetre a través d'una via química: el grau de descomposició i una seqüela seva, el nitrogen no hidrolitzable.

Es descriu breument el significat pràctic d'aquests paràmetres i es valora el seu encert a través de diversos exemples. Finalment s'introdueix un possible camí per tenir en compte el factor època de l'any en el càlcul de l'eficàcia nitrogenada dels residus orgànics.

PARAULES CLAU: adobs orgànics, coeficient isohúmic, mineralització, grau de descomposició, nitrogen no hidrolitzable, eficàcia nitrogenada.

RESUMEN

Se plantea la difícil previsión del comportamiento como abonos nitrogenados de los residuos ricos en N-orgánico. Se revisan los modelos que describen el proceso de mineralización de estos materiales. Asimismo se establecen las limitaciones que presenta el clásico modelo de Henin-Dupuis, que introduce el coeficiente isohúmico k_2 como método para describir el comportamiento en el suelo de la materia orgánica de los residuos.

Se discute la dificultad para obtener valores válidos de k_2 mediante balances de masa y se propone la caracterización de este parámetro a través del método químico del grado de descomposición y de su corolario, el nitrógeno no hidrolizable.

Se describe brevemente el significado práctico de estos parámetros y se valora su acierto a través de diversos

* Consultor. Can Maià Lacot. 17811 Santa Pau. Olot.

ejemplos. Finalmente se introduce un posible camino para tener en cuenta el factor época del año en el cálculo de la eficacia nitrogenada de los residuos orgánicos.

PALABRAS CLAVE: abonos orgánicos, coeficiente isohúmico, mineralización, grado de descomposición, nitrógeno no hidrolizable, eficacia nitrogenada.

SUMMARY

The difficulty of forecasting the behaviour of N-organic rich wastes as nitrogenous fertilizers are presented. Models describing the mineralization process of these materials are reviewed. Limitations of the classic Henin-Dupuis model, which introduces the isohumic coefficient k_2 as a method for describing the behaviour of residual organic matter in the soil, are established.

The difficulty for obtaining valid k_2 values through mass balances are discussed and the characterisation of this parameter by the chemical method of the decomposition and its corollary, non-hydrolysed nitrogen are proposed.

The practical significance of these parameters are briefly described and their accuracy is discussed with various examples. Finally, a possible way of considering the time of the year in the estimate of organic waste nitrogen efficiency are proposed.

KEY WORDS: organic wastes, organic manures, isohumic coefficient, mineralization, decomposition degree, non-hydrolysed nitrogen, nitrogen efficiency.

1. INTRODUCCIÓ

Un dels factors que més dificulta la correcta reutilització com a adobs dels residus orgànics (fems, purins, compost d'escombraries, etc.) és el seu comportament com a subministradors de nitrogen. Un cas exemplar és el dels fangs procedents de depuradores d'aigües residuals urbanes. La dosificació sol calcular-se segons l'aportació de nitrogen. Però la major part d'aquest element es troba en els fangs en forma orgànica, i per tant, la fracció que quedarà a disposició del conreu dependrà de la mineralització que pateixi la matèria orgànica a què està lligat aquest N-orgànic.

En el cas dels fangs o dels composts d'escombraries, interessa ajustar la dosi el millor possible, no només pels motius inherents a qualsevol altre adob nitrogenat (nutrició correcta del conreu, acumulació de nitrats a la planta, contaminació de les aigües amb aquesta espècie química, etc.), sinó també perquè així es minimitza el risc derivat de l'acumulació en el sòl dels elements potencialment tòxics o de contaminants orgànics (PCDD i PCDF, PCB, etc.) que aquests materials contenen en major o menor mesura.

La mineralització de la matèria orgànica pròpia del sòl o de l'aportada amb un residu orgànic que se li ha aplicat és un procés eminentment microbià. La seva velocitat està sotmesa a nombrosos condicionants: pH, temperatura i humitat del sòl (Chiang *et al.*, 1983), maduresa de l'adob orgànic aplicat (Navarro, 1990), interaccions entre aquest adob i el sòl (efecte *priming* o d'encebament (Kunck, 1974, i Ribalta *et al.*, 1986); con-

TAULA I. *Coefficients¹ isohúmics k_1 de diferents adobs orgànics.*

Adob orgànic	Autor				
	Soltner-1990	Muller-1982	Boiffin <i>et al.</i> -1986	DelasiMolot-1983	Chalin-1990
Fem ben madur	0,50	0,3-0,5	0,30	0,32	--
Fem mig madur	0,40	--	0,30	0,32	--
Fem fresc pallós	0,25	0,2-0,4	0,30	0,32	--
Compost d'escombraries	0,25	--	--	--	--
Compost de xampinyons	--	--	0,30	--	--
Fang de depuradora urbana	0,20	--	0,20	--	0,15-0,25
Torba	1,00	--	--	--	--
Sarments/brisa de raïm	--	--	--	0,37	--
Roldor	--	--	--	0,31	--

1. Les k_1 d'aquesta taula estan preses en el sentit clàssic, és a dir, fan referència a la fracció de matèria seca que s'humifica.

trast entre el pH i els carbonats del sòl i els del residu (Moragas, 1987)), etc. La majoria d'aquests factors són imprevisibles o immodificables, però per a unes concretes condicions ambientals, el ritme de mineralització es veurà afectat so-

bretot per la maduresa de l'adob orgànic, entenent com a tal la resistència de la seva matèria orgànica a ser descompost per la microflora pròpia del sòl. L'objectiu del present article és proposar una via per quantificar aquest caràcter.

TAULA II. *Coefficients¹ isohúmics k_1 de diferents adobs orgànics estimats mitjançant el mètode del grau de descomposició.*

A-Fems ² (Serra-1988)		B-Compost de plantes d'escombraries de Catalunya ³	
Tipus de fem	k_1	Planta de compostatge	k_1
Gallinassa	0,29	Vilafranca del Penedès	0,26
Ovella	0,35	Gavà	0,32
Vedell	0,32	Mataró	0,28
Vaca	0,35		
Conill	0,30		

1. Les k_1 d'aquesta taula corresponen al Grau de Descomposició expressat com a tant per u.

2. Mostrejats a Catalunya.

3. Mitjana de les mostres analitzades al llarg de l'any 1990 per l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

2. UNA PROPOSTA METODOLÒGICA PER CARACTERITZAR LA MADURESA

Existeixen diversos models teòrics que intenten descriure el procés de mineralització de la matèria orgànica del sòl, sola o conjuntament amb l'aportada per un residu orgànic que se li ha aplicat. Entre aquests hem d'esmentar les anomenades *cinètiques de primer ordre monocompartimentals* (Sinha *et al.*, 1977, i Van Veen i Paul, 1981), que consideren que la velocitat de mineralització és proporcional al contingut de matèria orgànica, però la constant de proporcionalitat k (anomenada constant de velocitat) és independent d'aquest contingut. La seva expressió matemàtica és:

$$\frac{d(\text{MO})}{dt} = -k \times \text{MO}$$

que integrada entre un moment $t = 0$ i un altre t adquireix la forma:

$$(\text{MO})_t = (\text{MO})_0 \times e^{-k \times t} \quad \text{eq. 1}$$

on $(\text{MO})_0$ i $(\text{MO})_t$ representen respectivament els nivells de matèria orgànica del sòl a l'inici de l'estudi i en l'instant t .

Una millora de l'anterior model són les cinètiques de primer ordre bicompartimentals (Moré, 1987), que assumeixen que la matèria orgànica està composta per dues fraccions, una de ràpida i l'altra de lenta mineralització. L'equació matemàtica que s'ajusta a aquest model de comportament és:

$$(\text{MO})_t = (\text{MO})_0 \times e^{-kr \times t} + (\text{MO})_0 \times e^{-kl \times t}$$

on $(\text{MO})_0$ i $(\text{MO})_0$ simbolitzen respectivament els continguts inicials de matèria orgànica ràpidament i lenta descomponibles, i kr i kl les seves corresponents constants de velocitat.

Encara que no tan divulgats, existeixen també els models logarítmics (Pal i Broadbent, 1975, i Terry *et al.*, 1979), que consideren l'existència d'una relació lineal entre la matèria orgànica mineralitzada i el logaritme del temps:

TAULA III. Coeficients¹ isohúmics k_1 d'adobs orgànics de diferent maduresa, estimats mitjançant el mètode del grau de descomposició.

Compost (Saña <i>et al.</i> -1989)			Fems (Serra-1988)		
	Frescos	Madurs		Frescos	Madurs
k_1	0,25 ²	0,40 ³	k_1	0,27 ⁴	0,43 ⁵
S	0,05	0,06	S	0,03	0,06

1. Les k_1 d'aquesta taula corresponen al Grau de Descomposició expressat com a tant per u.
- S = Desviació estàndard.
2. Mitjana de 29 mostres de compost d'origens diversos.
3. Mitjana de 36 mostres de compost d'origens diversos.
4. Mitjana de 16 mostres de fems d'origens diversos.
5. Mitjana de 36 mostres de fems d'origens diversos.

$$(\text{MO})_{\text{mineralitzada}} = m \times \log t + b$$

i els models potencials (Hsieh *et al.*, 1981), que preveuen la matèria orgànica mineralitzada en un període de temps t mitjançant equacions del tipus:

$$(\text{MO})_{\text{mineralitzada}} = a \times t^n$$

L'ajust de tots aquests models a les dades experimentals és molt semblant (Moragas, 1987), però les cinètiques de primer ordre, mono o bicompartimentals, són les que tenen una justificació més clara a partir dels principis de la cinètica química.

Sense cap mena de dubte, el sistema més estès de càlcul de la dosi d'adobat orgànic és el d'Henin i Dupuis (1945). Aquests autors consideren que la quantitat de matèria orgànica mineralitzada en el període d'un any és proporcional al contingut de matèria orgànica del sòl:

$$(\text{MO})_{\text{mineralitzada}} = k_2 \times \text{MO} \quad \text{eq. 2}$$

essent k_2 l'anomenat coeficient de mineralització, constant que depèn de les condicions climàtiques i de les característiques pròpies del sòl, i MO la seva matèria orgànica a l'inici d'aquest període d'un any. En essència, el model d'Henin-Dupuis es pot considerar com una simplificació de la cinètica de primer ordre monocompartimental. Així, modificant l'equació 1 i acceptant la validesa de la cinètica de primer ordre per descriure el procés de mineralització arribarem a:

$$\begin{aligned} (\text{MO})_{\text{mineralitzada}} &= \text{MO}_0 - (\text{MO})_{1 \text{ any}} = \\ &= \text{MO}_0 - \text{MO}_0 \times e^{-k \times 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{MO})_{\text{mineralitzada}} &= k_2 \times \text{MO}_0 = \text{MO}_0 \times (1 - e^{-k}) \\ k_2 &= 1 - e^{-k} \quad \text{eq. 3} \end{aligned}$$

En el model d'Henin-Dupuis, a les pèrdues per mineralització de matèria orgànica del sòl se li oposen els guanys que representa l'humus generat pels residus vegetals dels conreus precedents i el provinent de les incorporacions d'adobs orgànics. Segons aquests autors, l'humus format en un any és igual a:

$$(\text{MO})_{\text{humificada}} = k_1 \times (\text{MO})_{\text{aportada}} \quad \text{eq. 4}$$

on $(\text{MO})_{\text{aportada}}$ és el total de matèria orgànica proporcionada pel residu aplicat al sòl, i k_1 és una constant anomenada coeficient isohúmic. Originàriament la k_1 fou definida com la constant de transformació de la matèria seca aportada (orgànica més inorgànica) en humus. Aquí utilitzarem aquesta variant de la k_1 , que fa referència únicament a la matèria orgànica aplicada, ja que facilita la comprensió dels balanços de massa. Si pressuposem que el procés de mineralització d'aquests materials també segueix una cinètica de primer ordre podem escriure:

$$\begin{aligned} k_1 \times (\text{MO})_{\text{aportada}} &= (\text{MO})_{\text{humificada}} = \\ &= (\text{MO})_{\text{aportada}} - (\text{MO})_{\text{mineralitzada}} = \\ &= (\text{MO})_{\text{aportada}} \times (1 - e^{-k \times 1}) \\ k_1 &= 1 - e^{-k} \quad \text{eq. 4} \end{aligned}$$

Segons Henin i Dupuis (1945), el coeficient isohúmic depèn essencialment, però no exclusivament, de les característiques del residu orgànic. En conseqüència pot ser interpretat com un índex de la maduresa d'aquest: com més elevada sigui la k_1 , més matèria orgànica passarà a engruixir l'humus del sòl, i per

tant menys matèria orgànica es mineralitzarà ($MO_{\text{aportada}} \times (1 - k_1)$).

Malgrat la gran difusió que ha tingut el model d'Henin-Dupuis, aquest reposa sobre un nombre molt reduït de resultats experimentals, i en les comptades ocasions en què s'ha verificat la seva validesa, s'ha comprovat que el seu caràcter monocompartimental resulta massa simple per descriure exactament l'evolució de la matèria orgànica del sòl (Kolenbrander, 1981a, i Boiffin *et al.*, 1986). No obstant això, el model d'Henin-Dupuis se segueix utilitzant, a causa sobretot de la manca de les dades necessàries per poder aplicar models alternatius més complexos a situacions reals de camp.

Però aquest no és l'únic inconvenient del model Henin-Dupuis. Cal també advertir que els valors que la bibliografia atribueix als coeficients k_1 i k_2 són sovint contradictoris per a circumstàncies comparables i no cobreixen totes les possibles situacions agronòmiques (taula i). Aquesta disparitat en els valors bibliogràfics es podria explicar per la interdependència que existeix en el càlcul dels coeficients k_1 i k_2 : la determinació de la k_1 d'un residu orgànic s'ha realitzat clàssicament a partir dels balanços húmics del sòl acumulats al llarg de nombrosos anys, però en el càlcul hi intervé la k_2 del sòl, el valor de la qual també cal fixar mitjançant els mateixos balanços, ja que no és directament mesurable.

Un altre problema és que la proporció N-mineralitzable/N-orgànic del residu que s'aporta al sòl no necessàriament ha de coincidir amb la proporció MO-mineralitzable/MO-total: cal pen-

sar, per exemple, que les lignines, que són polímers difícilment degradables, pràcticament estan mancades de N, mentre que les proteïnes, materials fàcilment degradables, són extremament riques en aquest element. En conseqüència les k_1 (o les $1 - k_1$, que són les que aquí ens interessin) de la matèria orgànica no han de coincidir necessàriament amb les del N-orgànic.

Pels anteriors motius suggerim realitzar una estima aproximada del coeficient isohúmic k_1 mitjançant procediments químics. Els mètodes que proposem són els anomenats *Grau de Descomposició* i *Nitrogen No Hidrolitzable*, tècniques relativament simples de realitzar i que requereixen un utillatge mínim. El grau de descomposició fou utilitzat originàriament en la caracterització de torbes i altres substrats orgànics (Ministère de l'Agriculture de Belgique, 1971) i és la fracció orgànica d'un residu que resisteix dues hidròlisis successives amb H_2SO_4 del 72 % en fred i H_2SO_4 diluït en calent, expressada com a percentatge del contingut total de matèria orgànica. El nitrogen no hidrolitzable és la fracció nitrogenada resistent als anteriors tractaments.

El H_2SO_4 del 72 % ataca fonamentalment els materials cel·lulòsics mentre que l'àcid sulfúric diluït hidrolitza i solubilitza altres polisacàrids i productes proteics. Cal pensar que el residu resistent a aquests tractaments tan dràstics, format sobretot per lignines i substàncies en les primeres fases d'humificació (Moré, 1987), serà també relativament resistent a la descomposició biològica. Inoko *et al.*, (1979) comenten l'existència de relació entre el nitrogen no hidro-

litzable i la maduresa de la matèria orgànica del compost d'escombraries, i Chaussod (1980) ja suggereix que aquesta fracció de N sembla un bon sistema químic per preveure el comportament dels fangs de depuradora en el sòl.

Segons l'anterior descripció, el grau de descomposició expressat com a tant per u, s'identificarà amb la kI , és a dir, serà la fracció que anirà a engruixir la reserva hùmica del sòl. I el nitrogen del residu orgànic que cal suposar que quedarà a disposició del conreu en un termini raonablement curt de temps (un any, per exemple) serà la diferència entre el N-orgànic i el N-no hidrolitzable, és a dir, el N-hidrolitzable. A l'anterior fracció caldrà sumar-li el N-inorgànic, essencialment N-amoniacal, que ja és en un estat d'assimilació pràcticament immediata: cal assenyalar, però, que a vegades aquesta forma de N és escassa en alguns residus orgànics, com ara en la majoria de fangs de depuradora. Segons l'anterior raonament:

$$\text{N-disponible} = \text{N-inorgànic} + \text{N-hidrolitzable}$$

El N-no hidrolitzable no quedarà definitivament fora de l'abast del conreu, sinó que en integrar-se dins la fracció hùmica del sòl es mineralitzarà molt més a poc a poc, suposadament al ritme que li marqui el coeficient de mineralització k_2 propi d'aquest.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

A les taules II i III recollim la k_I de la fracció orgànica, determinada mitjançant la tècnica del grau de descom-

posició, d'una àmplia col·lecció de fems i de compost d'escombraries. Pot observar-se que la tècnica distingeix entre materials que, pel seu aspecte i historial, se sap que tenen diferent maduresa.

A la taula IV mostrem les k_I de les fraccions orgànica i nitrogenada d'una col·lecció de fangs de depuradora. Pot constatar-se que els coeficients isohúmics d'ambdues fraccions no coincideixen, tal com és lògic esperar. La columna identificada com que F_n és la de més interès pràctic, ja que descriu la fracció de nitrogen orgànic que presumiblement quedarà a disposició del conreu en un termini raonable de temps: la F_n expressa el quocient entre el contingut de N-hidrolitzable i el de N-orgànic total.

Existeix evidència experimental que fa pensar que el producte $F_n \times \text{N-orgànic}$ d'un fang es correspon aproximadament amb el N a disposició del conreu (recordem que el N-inorgànic és poc abundós en la majoria d'aquests materials), sempre que no existeixi cap factor edàfic que limiti l'activitat de la microflora. En unes experiències de quatre anys en què s'adobà raigràs amb fangs de depuradora (Saña *et al.*, 1990), es calculà la dosi a aplicar suposant unes F_n teòriques suggerides per la bibliografia. S'observà que més de la meitat de dalls adobats amb la dosi basada en $F_n = 0,4$ tenien un contingut superior a 2 g N-nítric $\times \text{kg}^{-1}$ m. s. (nivell considerat com a zootòxic), percentatge significativament molt superior al del raigràs adobat amb fertilitzant mineral (Salvador *et al.*, 1993). Això fa suposar que el subministrament de N dels fangs cap a la planta fou superior al teòricament previst, cosa que està en consonància amb uns valors

TAULA IV. *Coefficients isohúmics k_1 de les fraccions orgànica i nitrogenada de fangs d'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) estimats per mètodes químics (Romero del Castillo et al., 1989).*

Depuradora	k_1 del N ¹	FN ²	K_1 de la MO ³
Begur	0,16	0,84	0,26
Blanes	0,13	0,87	0,28
Cadaqués	0,15	0,85	0,25
Castelldefels	0,26	0,74	0,47
Colera	0,15	0,85	0,32
l'Estartit	0,16	0,84	0,35
Figueres	0,21	0,79	0,35
Girona	0,24	0,76	0,55
Igualada	0,32	0,68	0,41
Llançà	0,17	0,83	0,45
Manresa	0,27	0,73	0,46
Olot	0,23	0,77	0,35
Portbou	0,15	0,85	0,34
Port de la Selva	0,24	0,76	0,32
Palamós-Palafrugell	0,29	0,71	0,45
Reus	0,32	0,68	0,47
Roses	0,19	0,81	0,33
Sant Feliu de Guíxols	0,13	0,87	0,26
Tossa de Mar	0,21	0,79	0,38
Vilafranca	0,25	0,75	0,41

1. Correspon al quocient N-no hidrolitzable/N-total.

2. $Fn = 1 - k_f$. Descriu la fracció nitrogenada mineral i la presumptament mineralitzable (la hidrolitzable).

3. Les k_f d'aquesta taula corresponen al Grau de Descomposició expressat com a tant per u.

de Fn determinats químicament que oscil·laven entre 0,67 i 0,80 en els diferents fangs emprats en els anys successius.

de residu orgànic deixarà a disposició dels conreus al llarg de tot un any serà igual a:

$$\text{N-inorgànic} + (Fn \times \text{N-orgànic})$$

4. MÈTODE PER INCORPORAR EL FACTOR TEMPERATURA

En el supòsit que no existeixin factors edàfics (acidesa excessiva, anòxia, etc.) que limitin l'activitat microbiana, i segons el model d'Henin-Dupuis i les consideracions dels punts anteriors, la quantitat de N que una unitat de massa

on Fn , recordem-ho, és $(1 - k_f)$. Però si la durada del conreu és inferior a un any, el nitrogen de què disposarà també serà inferior a l'anterior quantitat. Ara bé, el N alliberat pel residu orgànic no dependrà només del temps transcorregut entre la seva aplicació i el final del conreu (o el moment en què aquest

finalitza l'assimilació de N), sinó també de quin període de l'any es tracti, atès que el factor que més afecta l'activitat mineralitzadora és la temperatura. La figura 1 recull les dades obtingudes per Kolenbrander (1981b), sobre el percentatge de la mineralització total que s'esdevé cada mes de l'any. La utilització d'aquestes dades creiem que permetria conèixer més exactament el N que s'allibera per mineralització d'un residu orgànic. Així, el N que quedarà a

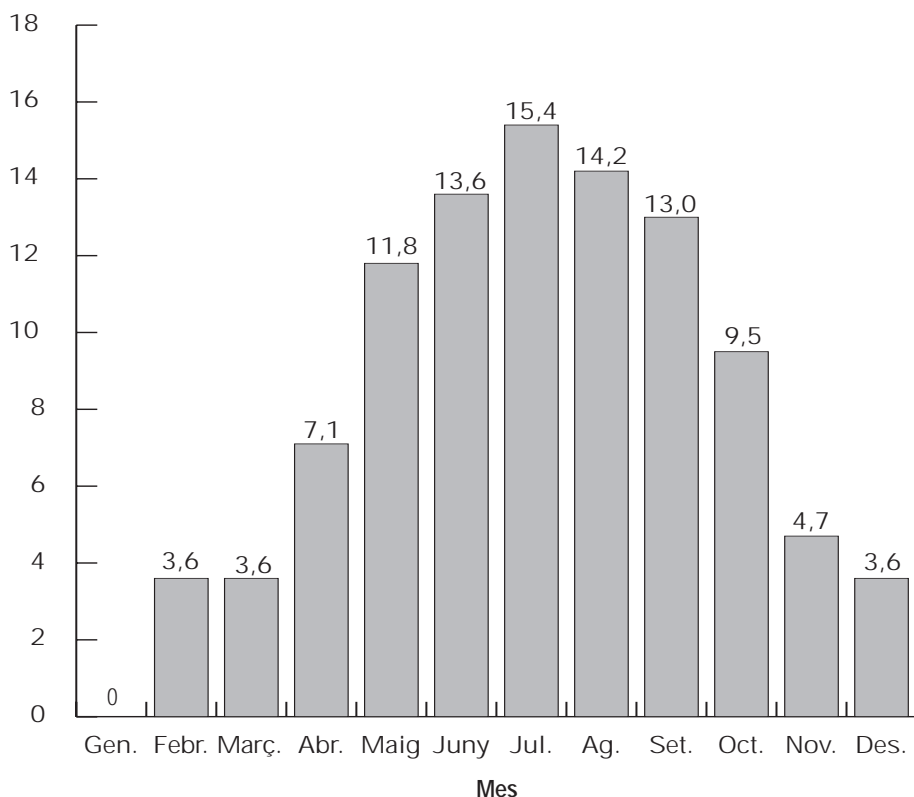
disposició del conreu per unitat de massa de residu serà igual a:

$$N\text{-inorgànic} + (\text{SUM}(\text{mes} \times \text{mineralització mensual}) \times F_n \times N\text{-orgànic})$$

on el sumatori abastarà el període entre l'aplicació del residu i el final del conreu o de l'assimilació de N per part d'aquest. El N que mineralitzi la resta de l'any quedarà a disposició dels conreus següents.

FIGURA 1. *Evolució al llarg de l'any del ritme de mineralització de la matèria orgànica en el sòl (Kolenbrander 1981b)*

Mineralització mensual (% del total anual)



5. CONCLUSIONS

1) Es proposen uns mètodes químics per determinar el coeficient isohúmic k_I de les fraccions orgàniques i organiconitrogenades dels adobs orgànics.

2) Aquests mètodes, anomenats respectivament *grau de descomposició* i *nitrogen no hidrolitzable*, són molt simples de realitzar i a més superen els inconvenients que presenten els mètodes dels balanços de massa.

3) El nitrogen no hidrolitzable, juntament amb el N-inorgànic i el N-orgànic total, permetran avaluar i preveure l'eficàcia nitrogenada d'un adob o residu orgànic.

4) Existeixen dades experimentals que suggereixen que els mètodes químics de determinació de la k_I sembla que funciona com a eines de previsió del comportament dels residus orgànics com a subministradors de nitrogen. Però calen experiències de camp de llarga durada que confirmin aquesta impressió.

5) Es proposa així mateix una via per incorporar el factor època de l'any a aquestes previsions.

BIBLIOGRAFIA

- BOIFFIN, J., KÉLI, J.; SEBILLOTTE, M. (1986). «Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais: application du modèle de Hénin-Dupuis». *Agronomie*, núm. 6 (5), p. 437-446.
- CHALIN, E. (1990). «Les boues de villes en bout de champ». *Cultivar*, núm. 283, p. 62-66.
- CHAUSSOD, R. (1980). *Valeur Fertilisante des Boues Residuaire. Characterization, Treatment and Use of Sewage Sludge*. Proc. 2on Europ. Symp. (Viena), p. 449-465.
- CHIANG, C.; SOUDI, B.; MORENO, A. (1983). *Soil Nitrogen nitrification and nitrification under Moroccan conditions. Nutrient Balances and the Need for Fertilizer in Semi-Arid and Arid Regions*. Proc. 17th Coll. Int. Potash Inst. Rabat & Marràqueix (Marroc), p. 129-139.
- DELAS, J.; MOLOT, C. (1983). «Effet de divers amendements organiques sur les rendements du maïs et de la pomme de terre cultivés en sol sableux». *Agronomie*, núm. 3 (1), p. 19-26.
- HENIN, S.; DUPUIS, M. (1945). «Essai de bilan de la matière organique des sols». *Ann. Agron.*, núm 15 (1), p. 161-172.
- HSIEH, Y. P., DOUGLAS, L. A.; MOTTO, H. L. (1981). «Modeling sewage sludge decomposition in soil (I): organic carbon transformation». *J. Environ. Qual.*, núm. 10 (1), p. 54-59.
- INOKO, A., MIYANATSU, K., SUGAHARA, K.; HARADA, Y. (1979). «Characterization of city refuse Compost produce in Japan. Their organic constituents». *Studies about Humus-Humus et Planta* VII, p. 335-341.
- KOLENBRANDER, G. (1981a). «Mineralisation of Nitrogen as influenced by decomposition rate of soil organic matter». A: J. C. BROGAN Ed., *Nitrogen losses and surface run-off from landspredding of manures*. Dev. on plant and Soil Sci. vol. núm. 2, Nijhooff i Junk Pub., l'Haia, Boston i Londres, p. 380-383.

- KOLENBRANDER, G. (1981*b*). «Limits to the spreading of animal excrement on agricultural land». A: J. C. BROGAN Ed. *Nitrogen losses and surface runoff from landspreading of manures*. Dev. on plant and Soil Sci. vol. núm. 2, Nijhooff i Junk Pub., l'Haia, Boston i Londres, p. 443-468.
- KUNCK, F. (1974). «Stimulatory effect of glucose on the microbial decomposition of native soil organic matter». *Rostlinná Vyroba*, núm. 20 (47), p. 853-860.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE BELGIQUE (1971). *Mtde. Convention pour l'Analyse des Engrais et des Amendements du Sol*. Div. B. Ad. Services Economiques d'Inspection de Matières Premières. Part II, p. 202-203.
- MORAGAS, R. (1987). *Estudis de cinètiques de mineralització de fangs de depuradora al sòl, segons el sistema de tractament de la depuradora*. Treball Final de Carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.
- MORÉ, J. C. (1987). *Determinació i quantificació dels paràmetres que afecten la mineralització del compost en el sòl*. Estudis i monografies. Diputació de Barcelona, núm. 12, p. 73-92.
- MULLER, J. C. (1982). «Matière organique: à quel niveau la maintenir». *Cultivar* 146, p. 60-64.
- NAVARRO, M. (1990). «Estudi del procés de mineralització en un sòl de compost de deixalles». *Quaderns Agraris* 13, p. 45-64.
- PAL, D.; BROADBENT, F. E. (1975). «Kinetics of ricestraw decomposition in soils». *J. Environ. Qual.* 4 (2), p. 256-260.
- RIBALTA, R., MORÉ, J. C.; SAÑA, J. (1986). «The priming effect and the respiratory rate/compost dose ratio as compost ripeness index». *Symp. Compost: production, quality and use*. Udine (Itàlia) p. 328-333.
- ROMERO DEL CASTILLO, R.; SAÑA, J.; BALANYÀ, T. (1989). «Manual d'utilització dels fangs de depuradora com a adobs». *Quaderns de divulgació*. DARP Generalitat de Catalunya i IRTA, núm. 12, 93 pp.
- SALVADOR, G., JIMÉNEZ, P.; SAÑA, J. (1993). «Utilización de les fangs de depuradora como abono en un cultivo de raigrás italiano». I: contenido en nitratos de la planta. *ITEA* núm. 89 (3), p. 182-190.
- SAÑA, J.; GIRÓ, F.; SOLIVA, M.; FLORENSA, P. (1989). «Approccio metodologico nella valutazione della qualità del compost della Catalogna (Spagna)». *Int. Symp. on Compost: production and use*. St. Michele all'Adige (Itàlia).
- SAÑA, J.; BALANYÀ, T.; ROMERO DEL CASTILLO, R. (1990). «Efectos de la aplicación de lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas en un cultivo de ray-grass». *I Cong. Int. de Química del ANQUE. Residuos Sólidos y Líquidos: su mejor destino* (Canarias).
- SERRA, X. (1988). «Paràmetres químics que informen sobre la maduresa dels adobs orgànics». Treball Final de Carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.
- SINHA, M. K.; SINHA, D. P.; SINHA, H. (1977). «Organic matter transformations in soils (V): kinetics of carbon and nitrogen mineralization in soils amended with diferent organic materials». *Plant and Soils* núm. 46, p. 579-590.
- SOLTNER, D. (1990). «Les bases de la production végétale» (I): le sol. 18 ed. *Coll. Sci. Tech. Agricoles*.

- TERRY, R. E.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. (1979). «Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils». *Soils Sci. Soc. Am. J.*, núm. 43 (3), p. 494-499.
- VEEN, J. A. VAN; PAUL, E. A. (1981). «Organic carbon dynamics in grassland soils» (I): Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.*, núm. 61 (2), p. 185-201.